

人工肺用シリコンコーティングポリプロピレン中空糸膜の耐水分透過性の評価

豊田, 泰斗 / TOYODA, Taito

(出版者 / Publisher)

法政大学大学院理工学研究科

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学大学院紀要. 理工学研究科編

(巻 / Volume)

65

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

2

(発行年 / Year)

2024-03-24

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00030665>

人工肺用シリコンコーティングポリプロピレン中空糸膜の耐水分透過性の評価

EVALUATION OF ANTI-WATER PERMEABILITY IN SILICONE-COATED POLYPROPYLENE HOLLOW FIBER MEMBRANES FOR ARTIFICIAL LUNG

豊田 泰斗

Taito TOYODA

指導教員 山下明泰

法政大学大学院理工学研究科応用化学専攻修士課程

Although the polypropylene hollow fiber membrane with a thin silicone coating is used for an artificial lung, it does not completely inhibit plasma leakage. In this study, water leakage was reproduced using polyoxyethylene (10) octylphenyl ether (POE), a surfactant, to evaluate the anti-water permeability of the membrane and to investigate the POE adsorption characteristics on the membrane. It was found that the silicone coating made the rate of the adsorption of POE slow, which prolonged the leak time. Furthermore, the adsorption rate of POE increased as the temperature increased, indicating that the leak time may be shortened for patients with high fever.

Key Words: Silicone-coated polypropylene membrane, Plasma leakage, Adsorption, Artificial lung

1. 緒言

肺機能の補助を目的に中空糸膜型人工肺が使用されているが、長時間の使用に伴い、血漿成分のガス相への漏出（血漿リーク）が生じ、膜のガス交換能が著しく低下することがある。これを防ぐため、人工肺用中空糸多孔質膜に耐血漿リーク性を担保する薄膜をコーティングした複合膜が使用されている。しかし、複合膜を用いた場合でも、長時間使用による血漿リークが報告されており、耐血漿リーク性は十分とはいえない^[1]。また近年、新型コロナウイルス感染症で重篤な呼吸不全に陥った患者の呼吸機能の補助装置として「体外式膜型人工肺（Extracorporeal Membrane Oxygenation : ECMO）」の需要が増え^[2]、発熱のある患者への適用例が急増した。

本研究では、人工肺用多孔質ポリプロピレン（PP）膜にシリコンをコーティングした複合膜（以下 Si-PP 膜）について、耐水分リーク性を評価した。また、耐水分リーク性と試験液温度の関係について検討した。

2. 実験方法

（1）試験液の調製

界面活性剤であるポリオキシエチレン(10)オクチルフェニルエーテル（POE）を、濃度 0.0200 vol% となるようにイオン交換水に加えて攪拌し、試験液とした。

（2）水分リーク実験

実験回路を Fig.1 に示す。ミニモジュールには、PP 中空糸膜および気体通気度減少率 GP-Loss（後述）が 44.1, 73.6,

92.7 %の Si-PP 中空糸膜を 6 cm×6 本使用した。37℃に加温した試験液を、ローラーポンプを用いて流量 400 mL/min で回路内に送液した。シリンジとクレンメを用いて回路内の圧力を 500 mmHg に設定し、試験液がいずれかの中空糸膜から漏出するまでの時間（リーク時間）を測定した。

（3）POE 吸着実験

ミニモジュールには、水分リーク実験と同様の膜を 10 cm×40 本封入した。まず、ミニモジュールを取り付けず、回路にのみ試験液を 400 mL/min で 4 時間送液し、回路部分への POE の吸着を完了させた。新しい試験液に交換した後、回路にミニモジュールを取り付け、試験液の流量を 400 mL/min、回路内の圧力を 500 mmHg として吸着実験を行った。実験中、紫外可視分光光度計で試験液の吸光度を 1 分間隔で測定し、吸着量を算出した。

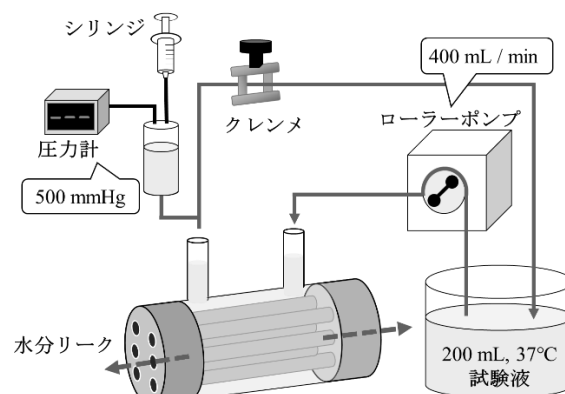


Fig.1 水分リーク実験回路

3. 理論

(1) 血漿リーク

人工肺に使用されている膜は疎水性であり、血液中の水分がガス相へ漏出することを防いでいる。しかし、長時間人工肺を使用し、血液中の血漿タンパク質が膜に吸着すると、膜の疎水性が失われて血漿リークが生じる。本実験では試験液に界面活性剤（POE）の水溶液を用いることで、水系で血液系と同様の水分リークを再現した。

(2) 気体透過度減少率（Gas Permeability Loss : GP-Loss）

GP-Loss とは、シリコンコーティング前後における中空糸膜の気体透過性の減少率である。GP-Loss が大きいほど気体透過性は低下するが、耐血漿リーク性は高くなる。

4. 結果および考察

(1) リーク実験

GP-Loss とリーク時間の関係を Fig.2 に示す。GP-Loss 73.6%までは緩やかなリーク時間の延長が見られ、92.7%でリーク時間が著しく延長した。この結果より、膜の耐血漿リーク性は GP-Loss、つまりシリコンコーティングの程度に対して閾値をもって増大することが示唆された。

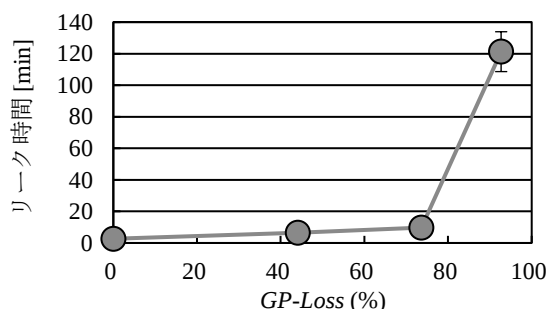


Fig.2 GP-Loss とリーク時間の関係 (37°C)

(2) POE 吸着実験

中空糸膜への POE 吸着量の経時変化を Fig.3 に示す。飽和吸着量は膜の GP-Loss によらず一定であった。吸着平衡に達するまでの時間は、PP 膜で約 3 min、Si-PP 膜では GP-Loss が小さい方から順に約 6 min, 10 min, 121 min であり、Fig.2 に示したリーク時間の方が吸着平衡に達するまでの時間よりも短いことがわかった。よって、リーク時間に大きく影響するのは、飽和吸着量よりも吸着速度である可能性が高い。また、GP-Loss 92.7%の膜への POE 吸着速度は、他の膜と比べて、著しく遅いことがわかった。したがって、Fig.2 において GP-Loss 73.6%と 92.7%の間で見られた大幅なリーク時間の増大は、POE 吸着速度の低下に起因するものと考えられる。

PP 膜と GP-Loss 73.6%の Si-PP 膜における温度ごとの POE 吸着量の経時変化を Fig.4 に示す。温度の上昇に伴って POE の膜への吸着速度は増大し、その傾向はシリコンコーティングの有無によらないことがわかる。この結果は、温度の増加に伴いリーク時間が短縮される可能性を示している。したがって、臨床においても、発熱のある患者

に人工肺を使用した場合、血漿リークが生じやすい可能性が示唆された。

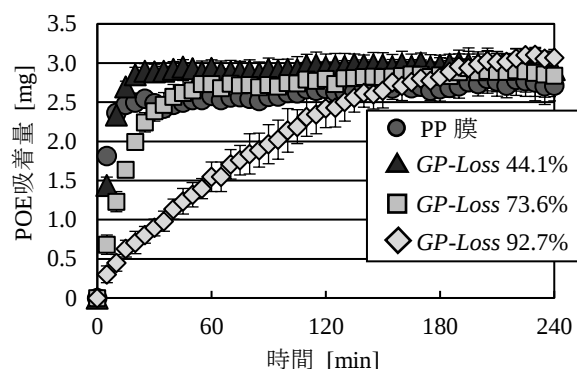


Fig.3 中空糸膜への POE 吸着量の経時変化 (37°C)

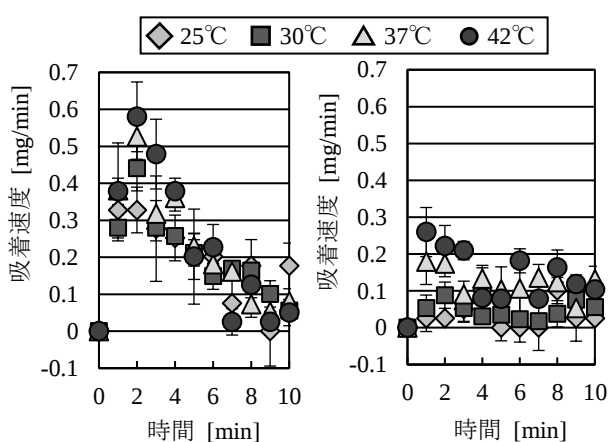


Fig.4 温度毎の POE 吸着量の経時変化
(左: PP 膜, 右: GP-Loss 73.6%)

5. 結言

GP-Loss 73.6%と 92.7%の膜ではリーク時間が大きく異なり、GP-Loss の増加に対して水分リーク耐性は閾値をもって増大することがわかった。この水分リーク耐性の向上は、膜への POE 吸着速度の大幅な低下に起因するものと考えられる。また、試験液温度の上昇に伴って POE 吸着速度が増大したことから、発熱のある患者に人工肺を使用する際には、血漿リーク時間が短くなる可能性が示唆された。

参考文献

- 1) 開正宏, 山鹿章, 服部敏之, 小林民男, 秋田利明, 戸崎洋子: シリコンコーティング膜型人工肺メラ HP エクラセンを PCPS に使用した 1 例, 体外循環技術, Vol.24(3), pp.61-64, 1998.
- 2) Extracorporeal Life Support Organization (ELSO): ECLS Registry Report International Summary October 17, 2023. [accessed October 21, 2023.] <https://www.elso.org/registry/internationalsummaryandreports/internationalsummary.aspx>